

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-236613  
(43)Date of publication of application : 31.08.2001

---

(51)Int.Cl. G11B 5/39

---

(21)Application number : 2000-040751 (71)Applicant : FUJITSU LTD  
(22)Date of filing : 18.02.2000 (72)Inventor : KIKUCHI HIDEYUKI  
SATO MASASHIGE  
KOBAYASHI KAZUO

---

## (54) MAGNETIC SENSOR AND METHOD OF MANUFACTURE

### (57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To realize a magnetic sensor having a ferromagnetic tunnel junction having a low resistance value and a MR ratio about equal to that of the ferromagnetic tunnel junction formed by using an aluminum oxide layer by utilizing an aluminum nitride layer having lower insulating barrier than that of the aluminum oxide layer as an insulating layer.

SOLUTION: The magnetic sensor including the ferromagnetic tunnel junction having a layer structure of a magnetic layer/an insulating layer/a magnetic layer is characterized in that the aluminum nitride layer formed by applying a plasma nitriding method or a natural nitriding method to an aluminum layer is used as a material of the insulating layer.

---

## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-236613

(P2001-236613A)

(43) 公開日 平成13年8月31日 (2001.8.31)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

G 1 1 B 5/39

識別記号

F I

G 1 1 B 5/39

データベース(参考)

5 D 0 3 4

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 7 頁)

(21) 出願番号 特願2000-40751(P2000-40751)

(22) 出願日 平成12年2月18日 (2000.2.18)

(71) 出願人 000005223

富士通株式会社

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番  
1号

(72) 発明者 菊地 英幸

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番  
1号 富士通株式会社内

(72) 発明者 佐藤 雅重

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番  
1号 富士通株式会社内

(74) 代理人 100105337

弁理士 眞鍋 潔 (外2名)

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 磁気センサ及びその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 磁気センサに関し、絶縁層として酸化アルミニウム層よりも絶縁障壁が低い窒化アルミニウム層を用い、しかも、酸化アルミニウム層を用いた強磁性トンネル接合と同程度のMR比をもち、抵抗値が低い強磁性トンネル接合をもつ磁気センサを実現しようとする。

【解決手段】 磁性層／絶縁層／磁性層の層構造をもつ強磁性トンネル接合を含む磁気センサに於いて、前記絶縁層の材料としてアルミニウム層にプラズマ窒化法或いは自然窒化法を適用して生成した窒化アルミニウム層を用いたことを特徴とする。

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】磁性層／絶縁層／磁性層の層構造をもつ強磁性トンネル接合を含む磁気センサに於いて、前記絶縁層の材料としてアルミニウム層にプラズマ窒化法を適用して生成した窒化アルミニウム層を用いたことを特徴とする磁気センサ。

【請求項2】磁性層／絶縁層／磁性層の層構造をもつ強磁性トンネル接合を含む磁気センサに於いて、前記絶縁層の材料としてアルミニウム層に自然窒化法を適用して生成した窒化アルミニウム層を用いたことを特

徴とする磁気センサ。  
【請求項3】前記窒化アルミニウム層の厚さが1.6 [nm] を越えないことを特徴とする請求項1或いは請求項2記載の磁気センサ。

【請求項4】磁性層／プラズマ窒化法或いは自然窒化法で生成された窒化アルミニウムからなる絶縁層／磁性層の層構造をもつ強磁性トンネル接合を成膜する工程と、その後、温度を200 [°C] 乃至300 [°C] の範囲として真空中で熱処理する工程とが含まれてなることを特徴とする磁気センサの製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、磁気ディスクの再生ヘッド或いはエンコーダなどに用いられる磁気センサ及びその製造方法の改良に関わり、特に、磁界に応じて電気抵抗が変化する磁気抵抗効果素子として知られる強磁性トンネル接合素子からなる磁気センサ及びその製造方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】一般に、「金属層／絶縁体層／金属層」\*30

$$R = R_s + 0.5 \Delta R (1 - \cos \theta)$$

$R_s$  : 飽和磁場を印加した場合の抵抗

$\Delta R$  : 最大磁場を印加した場合の抵抗変化量で表される。

【0009】従って、上下両面の強磁性金属層に於ける磁化の角度が揃っている場合 ( $\theta = 0$ ) であればトンネル抵抗 $R$ は小さく ( $R = R_s$ )、両強磁性金属層に於ける磁化の向きが反対 ( $\theta = 180^\circ$ ) であればトンネル抵抗 $R$ は大きくなる ( $R = R_s + \Delta R$ )。

【0010】これは、強磁性金属層内部の電子が分極していることに起因する。即ち、電子は、通常、上向きのスピン状態のもの (up電子) と下向きのスピン状態のもの (down電子) とが存在するが、通常、非磁性金属層内部の電子は、up電子とdown電子の両電子が同数だけ存在する為、全体として磁性をもたない。 ※

$$\Delta R / R_s = 2 \times P1 \times P2 / (1 - P1 \times P2) \quad \dots \dots (2)$$

$P1$  及び  $P2$  : 両強磁性金属層の分極率

★ ★であり、分極率 $P$ は、

$$P = 2 (N_{\uparrow} - N_{\downarrow}) / (N_{\uparrow} + N_{\downarrow}) \quad \dots \dots (3)$$

で表される。

【0014】分極率 $P$ は、強磁性金属の種類に依存し、

\* からなる積層構造をもつ接合に於いては、上下両面の金属層間に電圧を印加した場合、絶縁体層が十分に薄ければ僅かな電流が流れる。

【0003】通常、絶縁体は電流を通さないが、十分に薄い場合、量子力学的効果に依って僅かに電子が透過する確率をもつ為に電流が流れるものであり、この場合の電流を「トンネル電流」と呼び、そして、この構造をもつ接合を「トンネル接合」と呼んでいる。

【0004】ここで、絶縁体としては、上下両面の金属層に生成された酸化層を絶縁障壁として用いることが多く、例えば、アルミニウム (Al) 層の表面に自然酸化、プラズマ酸化、熱酸化などの手段で酸化させて得られる酸化層を利用する。

【0005】前記酸化層は、酸化条件を適切に設定することで、十分に薄くすることが可能であり、この酸化層、即ち、酸化アルミニウム層は絶縁物であるから、トンネル接合の障壁層として用いることができる。

【0006】このようなトンネル接合の特徴としては、印加電圧に対する電流が、通常の抵抗と異なって、非線形性をもつことから、その非線形性を必要とする分野の素子として用いられてきた。

【0007】前記トンネル接合に於ける上下両面の金属層を強磁性金属層に置き換えた接合を強磁性トンネル接合と呼ばれ、その強磁性トンネル接合に於けるトンネル確率 (トンネル抵抗) は、上下両面の強磁性金属層の磁化状態に依存することが知られている。

【0008】これを換言すると、磁場の如何に依ってトンネル抵抗を制御できることに他ならない。ここで、磁化の相対角度を $\theta$ とすると、トンネル抵抗 $R$ は

$$\dots \dots (1)$$

※ 【0011】これに対し、強磁性金属層内部の電子は、up電子数 ( $N_{\uparrow}$ ) とdown電子数 ( $N_{\downarrow}$ ) とが異なる為、全体としてup若しくはdownの磁性をもつことになる。

【0012】電子がトンネルする場合、それらの電子は、それぞれのスピン状態を維持したままトンネルすることが知られていて、従って、トンネル先の電子状態に空きがあれば、トンネルすることは可能であるが、トンネル先の電子状態に空きがなければ、トンネルすることはできない。

【0013】トンネル抵抗の変化率は、電子源の偏極率とトンネル先の偏極率との積、従って、次式で表される。即ち、

例えば、NiFe、Co、CoFeの分極率は、それぞれ0.3、0.34、0.46であり、その場合、理論

3

的には、それぞれ約20 [%]、26 [%]、54 [%]の磁気抵抗変化率(MRレシオ)を期待でき、このMRレシオの値は、異方性磁気抵抗効果(AMR)や、巨大磁気抵抗効果(GMR)よりも大きいので、磁\*

$$R \propto \exp(W_s (\phi)^{1/2})$$

であり、従って、トンネル抵抗Rは、絶縁障壁高さ $\phi$ が低い場合、また、書癖幅Wが狭い場合には小さくなる。

【0016】図4は従来の技術に依るスピナバルブ構造の強磁性トンネル接合を表す要部説明図であって、

(A)は要部切断断面を、また、(B)は要部平面をそれぞれ示している。尚、(A)は(B)に見られる中央を円形に切り取った部分のみを表している。

【0017】図に於いて、1はSi基板、2はSiO<sub>2</sub>からなる絶縁膜、3はNiFeからなる下層、4はCoFeからなる下層、5はAl-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>からなる障壁層、6はCoFeからなる上層、7はIrMnからなる上層、8はAlからなる酸化防止層をそれぞれ示している。

【0018】この強磁性トンネル接合を作製するには、① スパッタリング法を適用することに依り、例えばNi板からなるメタル・マスクを用い、Si基板1を覆う絶縁膜2上に厚さが例えば24 [nm]であるNiFeからなるストライプの下層3を成膜し、引き続き、厚さが例えば10 [nm]であるCoFeからなる下層4を成膜する。尚、成膜中は、一方向、即ち、ストライプの長手方向に磁場を印加する。

【0019】ここで成膜した下層3及び下層4は、磁場に対して磁化が自由に回転する強磁性層として機能する。

【0020】また、CoFeはNiFeに比較して分極率が大きいので、強磁性トンネル抵抗変化を大きくする目的で挿入するものである。

【0021】② スパッタリング法を適用することに依り、前記同様、メタル・マスクを用いて、厚さが例えば1.6 [nm]である円形のAl膜を形成し、次いで、例えば酸素ガス圧：1.8 [Pa]、酸化時間：60

[秒]なる条件で表面をプラズマ酸化してAl-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>からなる障壁層5を形成する。

【0022】③ スパッタリング法を適用することに依り、厚さが例えば10 [nm]であるCoFeからなる上層6を成膜し、次いで、厚さが例えば50 [nm]であるIrMnからなる上層7を成膜する。尚、成膜中は、下層4などのストライプと略直交する方向のストライプに磁場を印加する。

【0023】④ スパッタリング法を適用することに依り、厚さが例えば10 [nm]であるAlからなる酸化防止膜8を形成する。

【0024】図5は図4について説明した工程を経て作製したスピナバルブ構造の強磁性トンネル接合の磁気抵抗効果曲線(MR曲線)を表す線図である。

4

\* 気センサへの応用が考えられる。

【0015】また、トンネル抵抗Rは、次式から、絶縁層に於ける絶縁障壁高さ $\phi$ 及び障壁幅Wに依存することが理解される。即ち、

$$\dots\dots (4)$$

【0025】前記のように、「磁性層(フリー層)」/絶縁層(障壁層)/磁性層(ピン層)/反強磁性層(ピン層)なる構成を採った場合、ピン層であるCoFe層がピン層であるIrMn層と交換結合し、ピン層の磁化方向が固定される。

【0026】従って、外部から磁場を印加すると、下層(フリー層)のみが磁化回転し、下層と上層との磁化の相対角度が変化する為、式(1)に見られるように、磁場に依存してトンネル抵抗が変化する。

【0027】ところで、前記したように、従来の強磁性トンネル接合では、障壁層である絶縁層の材料には主として酸化アルミニウムが用いられているのであるが、磁性トンネル接合を磁気センサ、特に、超高密度記録用磁気ヘッドの構成部材として用いる場合、酸化アルミニウムを用いたトンネル接合では、抵抗値が大きいので、それを低下させる必要がある。

【0028】抵抗値を低下させる手段としては、式(4)から看取できるように、絶縁層の層厚を薄くするか、絶縁障壁高さを低くすることが考えられる。

【0029】絶縁層の層厚を薄くする手段を採る場合、ピンホールが無いようにしなければならないが、現用の酸化アルミニウム層の厚さは約16 [Å]と薄く、これ以上に薄くしてピンホールが存在しない絶縁層を形成することは困難である。

【0030】また、絶縁障壁高さを低くする手段を採る場合、酸化アルミニウム層に代えて窒化アルミニウム層を用いる方法が提案されている(要すれば、「J. J. Sun, R. C. Sousa: J. Magn. Soc. Japan 23, 55 (1999)」を参照)。

【0031】然しながら、この窒化アルミニウム層を用いる従来の技術に於いては、窒化アルミニウム層を成膜する際、Ar+N<sub>2</sub>混合ガスを用い、反応性スパッタリング法を適用して作製して、高いMR比、即ち、2 [%]以上のMR比は得られていない。

【0032】

【発明が解決しようとする課題】本発明では、絶縁層として酸化アルミニウム層よりも絶縁障壁が低い窒化アルミニウム層を用い、しかも、酸化アルミニウム層を用いた強磁性トンネル接合同程度度のMR比をもち、抵抗値が低い強磁性トンネル接合をもつ磁気センサを実現しようとする。

【0033】

【課題を解決するための手段】本発明では、強磁性トンネル接合に於ける絶縁障壁として作用する絶縁層としてプラズマ窒化法を適用して形成した窒化アルミニウム層

を用いることが基本になっている。

【0034】前記したところから、本発明に依る磁気センサに於いては、(1)磁性層/絶縁層/磁性層の層構造をもつ強磁性トンネル接合を含む磁気センサに於いて、前記絶縁層の材料としてアルミニウム層にプラズマ窒化法を適用して生成した窒化アルミニウム層を用いたことを特徴とするか、或いは、

【0035】(2)磁性層/絶縁層/磁性層の層構造をもつ強磁性トンネル接合を含む磁気センサに於いて、前記絶縁層の材料としてアルミニウム層に自然窒化法を適用して生成した窒化アルミニウム層を用いたことを特徴とするか、或いは、

【0036】(3)前記(1)又は(2)に於いて、前記窒化アルミニウム層の厚さが1.6[nm]を越えないことを特徴とするか、或いは、

【0037】(4)磁性層/プラズマ窒化法或いは自然窒化法で生成された窒化アルミニウムからなる絶縁層/磁性層の層構造をもつ強磁性トンネル接合を成膜する工程と、その後、温度を200[°C]乃至300[°C]の範囲として真空中で熱処理する工程とが含まれてなることを特徴とする。

【0038】前記手段を採ることに依り、低抵抗で且つ高い磁気抵抗変化率(MR比)をもつ高性能の磁気センサを実現することができる。

【0039】

【発明の実施の形態】本発明に依る磁気センサは、絶縁障壁として作用する絶縁層が特徴的であり、その外見構成は例えば図6について説明した磁気センサと同様であって良く、従って、図4の磁気センサを参照しつつ、製造工程の一例について説明する。

【0040】(1)スパッタリング法を適用することに依り、例えばNi板からなるメタル・マスクを用い、Si基板1を覆う絶縁膜2上に厚さが例えば24[nm]であるNiFeからなるストライプの下層3を成膜し、引き続き、厚さが例えば10[nm]であるCoFe<sub>31</sub>からなる下層4を成膜する。

【0041】これ等の成膜中に於いて、ストライプの長手方向に磁場を印加する点は従来の技術と変わりなく、また、成膜した下層3及び下層4は、磁場に対して磁化が自由に回転する強磁性層として機能する点も同じである。

【0042】(2)スパッタリング法を適用することに依り、前記同様、メタル・マスクを用いて、厚さが例えば1.6[nm]である円形のAl膜を形成し、次いで、例えば窒素ガス圧:1.8[Pa]、窒化時間:60[秒]なる条件で表面をプラズマ窒化してAl-AlNからなる障壁層5Aを形成する。尚、障壁層5の厚さが1.6[nm]を越えると抵抗値が大きくなって実用にならない。

【0043】(3)スパッタリング法を適用することに

依り、厚さが例えば10[nm]であるCoFe<sub>31</sub>からなる上層6を成膜し、次いで、厚さが例えば50[nm]であるIrMnからなる上層7を成膜する。尚、成膜中は、下層4などのストライプと略直交する方向の磁場を印加する。

【0044】(4)スパッタリング法を適用することに依り、厚さが例えば10[nm]であるAlからなる酸化防止膜8を形成する。

【0045】図1は窒化アルミニウム層を絶縁層とした強磁性トンネル接合、並びに、酸化アルミニウム層を絶縁層とした強磁性トンネル接合のMR曲線を表す線図であって、(A)が窒化アルミニウム層を用いた場合、(B)が酸化アルミニウム層を用いた場合である。

【0046】図1に於ける(A)及び(B)の何れの場合も、接合の層構造、ガス圧や窒化或いは酸化時間など作製条件は同じである。

【0047】図1の(A)に於ける具体的な積層構造は、NiFe(24[nm])/CoFe<sub>31</sub>(10[nm])/Al-N(1.6[nm])/CoFe<sub>31</sub>(10[nm])/IrMn(50[nm])/Al(10[nm])であり、また、同じく(B)に於ける具体的な積層構造は、NiFe(24[nm])/CoFe<sub>31</sub>(10[nm])/Al-O(1.6[nm])/CoFe<sub>31</sub>(10[nm])/IrMn(50[nm])/Al(10[nm])である。尚、「<sub>31</sub>」は組成を示している。

【0048】また、図中には、各接合の障壁高さ $\phi$ と障壁幅Wとをシモンズの式を用いて求めた値を併記している。

【0049】図からすると、MR比は両接合とも10[%]を越え、略同じ値になっているのであるが、抵抗値は窒化アルミニウム層を用いた接合の方が小さくなっていることが看取されよう。

【0050】この理由は、窒化アルミニウム層を絶縁層とした方が、絶縁障壁高さ $\phi$ が低く且つ障壁幅Wも狭いことに依る。

【0051】図2及び図3はMR比及び抵抗のアニール温度依存性を表す線図であり、図2は絶縁層が窒化アルミニウム層である場合、また、図3は絶縁層が酸化アルミニウム層である場合、そして、各図に於いて、(A)はMR比を、また、(B)は飽和磁場を加えた際の抵抗R<sub>s</sub>をそれぞれ示している。

【0052】図からすると、MR比は熱処理温度と共に増加し、熱処理温度が250[°C](酸化アルミニウム層の場合は225[°C])でMR比は30[%]を越えていることが看取され、そして、抵抗R<sub>s</sub>は窒化アルミニウム層を用いた場合の方が小さくなっていることは言うまでもない。

【0053】本発明に於いては、前記実施の形態に限られることなく、且つ、特許請求の範囲に記載された範囲

を逸脱することなく、他に多くの改変を実現することができる。

【0054】例えば、絶縁層を形成する際、前記実施の形態では、窒化アルミニウム層を生成させる為、プラズマ窒化法を適用したが、これはスパッタリング法を適用してアルミニウム層を成膜した後、スパッタリング装置内に窒素ガスを流してアルミニウム層表面を窒化させる自然窒化法に依存しても良い。

【0055】また、強磁性トンネル接合を形成した後、温度を200〔℃〕～300〔℃〕の範囲として真空中で熱処理を行なうと層質が良くなる。

【0056】本発明に依って作製された磁気センサは、ハード・ディスク装置、ディスク・アレイ装置、エンコーダ装置などに用いて好適である。

【0057】

【発明の効果】本発明に依る磁気センサに於いては、磁性層／絶縁層／磁性層の層構造をもつ強磁性トンネル接合を含む磁気センサに於いて、前記絶縁層の材料としてアルミニウム層にプラズマ窒化法或いは自然窒化法を適用して生成した窒化アルミニウム層を用いる。

【0058】前記構成を採ることに依り、低抵抗で且つ高い磁気抵抗変化率（MR比）をもつ高性能の磁気センサを実現することができる。

\*

\*【図面の簡単な説明】

【図1】窒化アルミニウム層を絶縁層とした強磁性トンネル接合、並びに、酸化アルミニウム層を絶縁層とした強磁性トンネル接合のMR曲線を表す線図である。

【図2】MR比及び抵抗のアニール温度依存性を表す線図である。

【図3】MR比及び抵抗のアニール温度依存性を表す線図である。

【図4】従来の技術に依るスピントラップ構造の強磁性トンネル接合を表す要部説明図である。

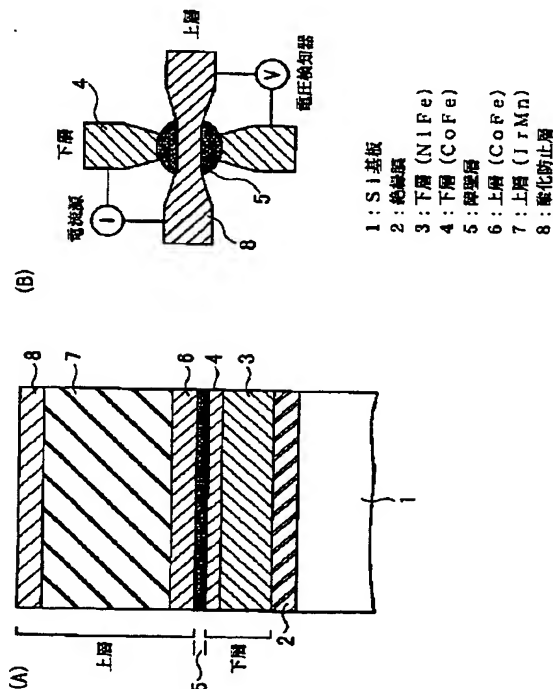
【図5】図4について説明した工程を経て作製したスピントラップ構造の強磁性トンネル接合の磁気抵抗効果曲線（MR曲線）を表す線図である。

【符号の説明】

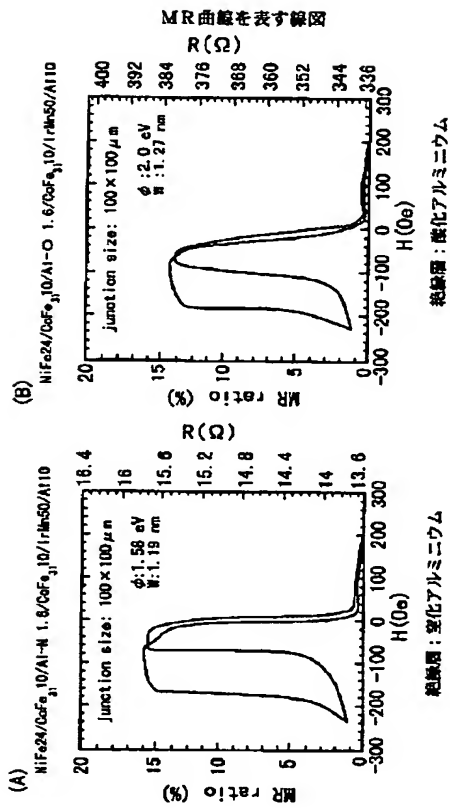
- 1 Si基板
- 2 SiO<sub>2</sub> からなる絶縁膜
- 3 NiFeからなる下層
- 4 CoFeからなる下層
- 5 Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> からなる障壁層
- 6 CoFeからなる上層
- 7 IrMnからなる上層
- 8 Alからなる酸化防止層

【図4】

強磁性トンネル接合の要部説明図

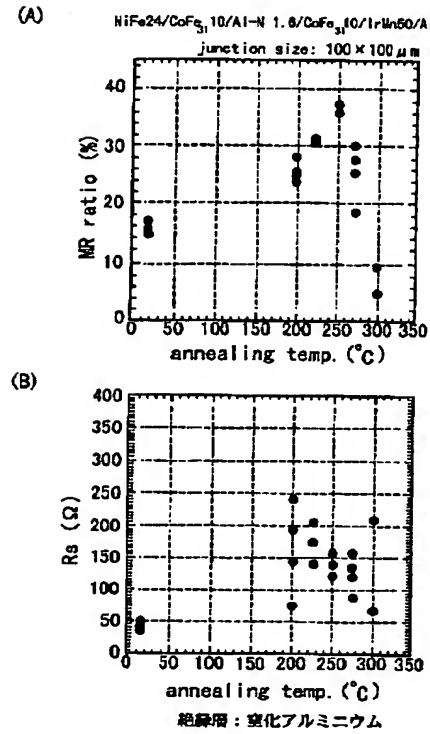


【図1】



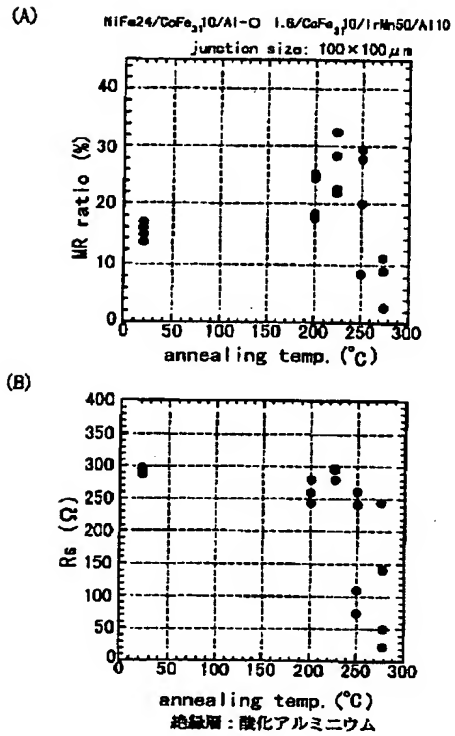
【図2】

MR比及び抵抗のアニール温度依存性を表す線図



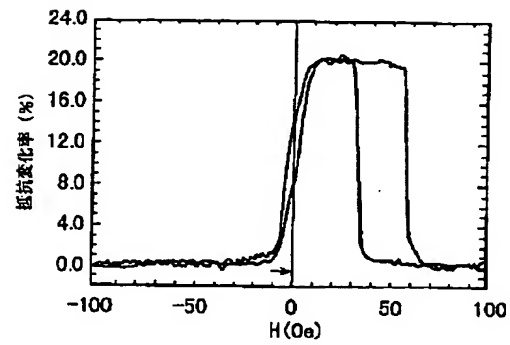
【図3】

MR比及び抵抗のアニール温度依存性を表す線図



【図5】

MR曲線を表す線図



フロントページの続き

(72)発明者 小林 和雄  
神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番  
1号 富士通株式会社内

Fターム(参考) 5D034 BA03 BA15 DA07